

УДК 662.741

## ПУТИ МОДЕРНИЗАЦИИ ВЫБРОСООПАСНЫХ УЗЛОВ ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТОВ

Парфенюк А. С., Алексеева О. Е., Третьяков П. В.  
ДонНТУ

*Предложена методика оценки долговечности стыковочных узлов тепловых агрегатов, основанная на определении численных значений критерия разрушения элементов узлов и критерия герметичности. С использованием предложенной методики разработаны рекомендации по повышению экологической безопасности в двух направлениях: регламентация ремонтно-профилактических работ агрегата и разработка технических решений по усовершенствованию конструкции герметизирующих узлов.*

Герметичность рабочего пространства камерных коксовых печей и системы их обогрева является важнейшим критерием технического состояния и условием ведения нормального технологического режима коксования, тепловой эффективности и экологической безопасности коксовых батарей [1, 2].

По валовым показателям вредных выбросов коксохимия не является ведущей в металлургии, однако выбросы агрегатов коксохимии содержат токсичные и канцерогенные компоненты, оказывающие значительное неблагоприятное воздействие на здоровье людей. Коксохимическое производство многотоннажно, технологически объединяет множество разных по характеру процессов, агрегатов, аппаратов и, как следствие этого, представляет собой крупный источник загрязнения окружающей среды. Если требуемый уровень загрязнения атмосферы по количеству выбросов составляет 2 кг/т кокса, то на коксохимических предприятиях количество выбросов в среднем равно 10 кг/т кокса [3].

Вследствие наличия в конструкции камерных печей большого количества элементов, имеющих неодинаковые физико-механические свойства и по-разному воспринимающих нагрузку в процессе эксплуатации, а также в связи со старением основных фондов коксохимических предприятий и все более возрастающими современными требованиями экологической безопасности представляется важным научный анализ герметичности и обоснование дальнейшего совершенствования конструкций герметизирующих элементов коксовых печей.

Работы в этом направлении [4–6] включают разработку теоретических основ оценки эффективности конструктивных решений с точки зрения обеспечения их экологичности, что в свою очередь позволит в дальнейшем моделировать и создавать на практике более безопасное оборудование и улучшит экологическую обстановку в коксовых цехах.

Очевидно, что различные участки и зоны коксовых батарей обладают различной степенью выбросоопасности. Самыми выбросоопасными узлами камерных печей являются узлы стыковки огнеупорных и металлических конструктивных элементов, обеспечивающие операции загрузки–выгрузки сырья и продукта, подвод коксового газа на обогрев, отвод летучих и дымовых газов, контрольные и регулировочные лючки и штуцера. Количество неорганизованных выбросов через эти узлы точно не определено, но по экспертным оценкам в 3–4 раза превышает выбросы при выдаче кокса из печи. Кроме того, эти узлы являются низко расположенными источниками выбросов, что чрезвычайно затрудняет обслуживание основного агрегата производства.

В ряде работ [7–10] предложены методики оценки долговечности и герметичности элементов коксовых печей. Однако для сравнения показателей герметичности различных конструкций выбросоопасных узлов, исследования влияния различных факторов, прогноза работоспособности и экологической безопасности на этапе проектирования необходимы более информативные критерии и соответствующие методики определения экологической безопасности.

Ниже дано решение поставленной задачи в более общей постановке — путем создания методики оценки, позволяющей проводить анализ эффективности герметизирующих устройств не только для коксовых печей, но и для различных тепловых агрегатов.

В выбросоопасных узлах тепловых агрегатов протекает процесс изменения их напряженно-деформированного состояния с постепенным разрушением элементов и связей между ними под воздействием, переменных температурных и механических нагрузок. Протекание этого процесса характеризуется накоплением повреждений элементами узла, пока какой-либо из элементов не потеряет способность удовлетворительно функционировать, т.е. наступает предельное состояние узла [11].

В качестве показателя разрушения  $\sigma^*$  для огнеупорных элементов принят предел прочности на растяжение, для металлических элементов — предел текучести. Для системы

совместно работающих элементов показателем предельного состояния является утрата способности ее соединений препятствовать обмену внутренней и внешней среды, т.е. потеря герметичности. В качестве показателя герметизирующей способности узла принята удельная объемная утечка газовой среды в атмосферу  $Q$ , зависящая от следующих факторов:

1. температурного: максимальная температура элемента  $t_{\max}$  и температурный перепад  $t_{\max} - t_{\min}$ ;
2. механического: действующие напряжения  $\sigma^M$  в элементах; усилие прижатия стыкующихся элементов в соединении  $q_{\text{пр}}$ ;
3. технологического: время работы  $\tau$ , скорость поверхностного разрушения  $v_s$ , перепад давления между внутренней и внешней средой  $\Delta p$ , динамическая вязкость газа  $\mu$ ;
4. конструктивного: характерный размер элемента  $L$ , площадь поверхности контакта стыкующихся элементов  $B$ .

На основе теории размерностей получены критерии работоспособности стыковочных узлов: критерий разрушения и герметичности, и условия работоспособности имеют вид:

$$\sigma_{i=1\dots n}^M \leq \sigma^* \cdot K_{\sigma^*},$$

$$Q_{\text{ПДВ}} \geq \left( \frac{\Delta p B}{\mu} \right) \cdot K_Q$$

где  $n$  — количество расчетных узлов в каждом элементе узла;  $k$  — количество типов соединений в узле;  $K_{\sigma^*}$ ,  $K_Q$  — комплексные функции, учитывающие влияние на прочность и герметичность узла основных действующих факторов: температурного, механического, технологического, конструктивного;  $Q_{\text{ПДВ}}$  — удельный предельно-допустимый выброс.

Работоспособность стыковочного узла можно считать обеспеченной при соблюдении следующих условий:

1. если механические напряжения, действующие в элементах, не превысят предел прочности, с учетом комплексной функции  $K_{\sigma^*}$ . Следовательно, для работоспособных элементов на любом этапе эксплуатации должно соблюдаться условие:

$$\frac{\sigma_{i=1\dots n}^M}{\sigma^* K_{\sigma^*}} \leq 1,$$

2. если значение утечки с учетом комплексной функции  $K_Q$  не превысит нормативную утечку через рассматриваемое соединение. Следовательно, для герметичных узлов должно быть соблюдено условие:

$$Q_{\text{ПДВ}} \left( \frac{\mu}{\Delta p B K_Q} \right) \geq 1.$$

В общем виде коэффициенты  $K_{\sigma^*}$ ,  $K_Q$  являются уравнениями регрессии.

Определение коэффициентов в уравнениях проведено методом планированного эксперимента, а затем расчет численных значений комплексных функций  $K_Q$ ,  $K_{\sigma^*}$  с использованием математической модели температурного и напряженно-деформированного состояния узла для всех элементов и различных типов соединений герметизирующих узлов [12] позволил установить критерии работоспособности элементов коксовой печи объемом 41,6 м<sup>3</sup>.

В результате определены зоны узлов и элементы, выходящие из строя в первую очередь, и интервалы времени в процессе эксплуатации агрегата, соответствующие потере герметичности узлов [13].

На основе результатов исследования модели разрушения герметизирующих узлов разработаны рекомендации по повышению экологической безопасности тепловых агрегатов в двух направлениях: регламентация ремонтно-профилактических работ и разработка технических решений по усовершенствованию конструкции герметизирующих узлов.

С использованием методики оценки состояния герметизирующих устройств разработан график обслуживания и восстановления элементов выбросоопасных узлов, внедрение которого позволит повысить их эффективность за счет:

- увеличения срока службы уплотняющей рамки до 3-х лет, что в 3 раза превышает сроки, установленные правилами технической эксплуатации коксохимических предприятий;
- продления ресурса футеровки 2,5 раза, что даст возможность ремонтировать элементы двери в один и тот же срок после 3 лет эксплуатации агрегата, т.е. через 1500 циклов печевыдач;
- сохранения газоплотности кладки заплечиков до срока перекладки отопительных каналов.

Анализ эффективности выбросоопасных узлов по критериям разрушения и герметичности показал, что целесообразны их следующие конструктивные усовершенствования.

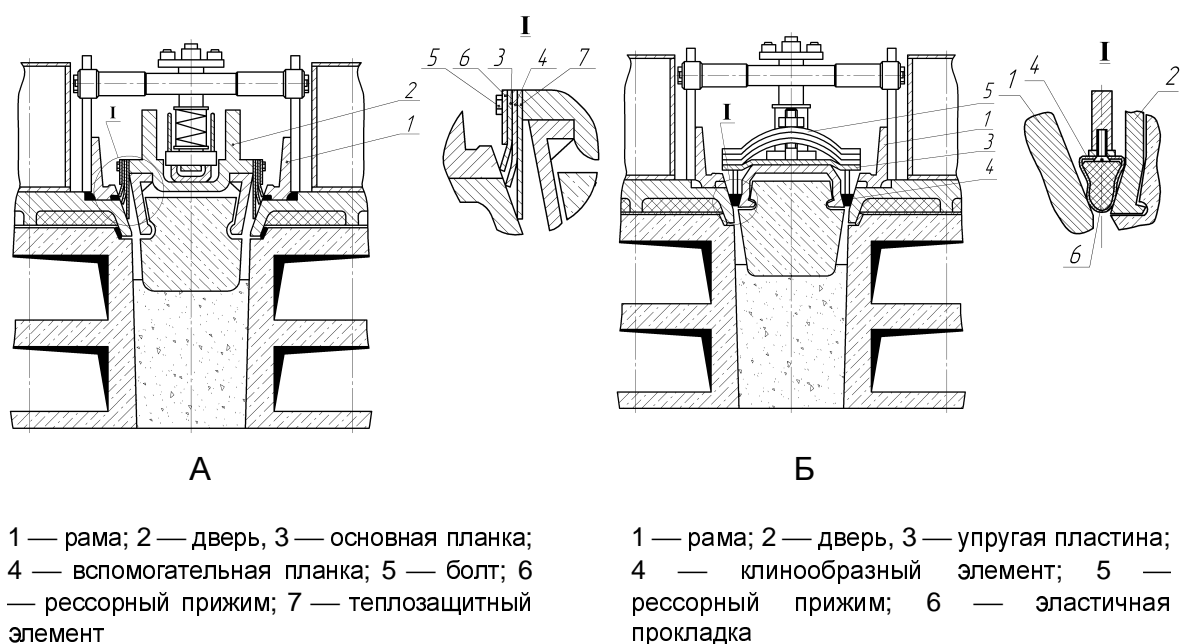
Применить шамотную теплоизоляцию динасовой кладки герметизирующих узлов при ее толщине больше 50 мм, что позволит снизить температурный перепад в элементах выбросоопасных узлов с 1500°С до 500°С.

Футеровать корпус двери крупногабаритными шамотными блоками со слоем теплоизоляции.

Повысить компенсирующую способность уплотнительных устройств, обеспечить самоцентрирование дверей, люков, крышек выбросоопасных узлов (рис.1).

Использовать упругие гибкие пластины в качестве элементов герметизирующих устройств вместо традиционных жестких рамок (рис.1).

Использовать в герметизирующих узлах дополнительные



**Рис.1.** Устройства уплотнения дверей коксовых печей

элементы для очистки поверхностей стыка от смолистых отложений.

Предложенные устройства [14, 15] обеспечивают самоцентрирование двери, высокую ремонтпригодность, а также создают эффект лабиринтного уплотнения, что приводит к повышению герметичности выбросоопасных узлов камерных коксовых печей. Использование этих конструкций позволит увеличить период герметичной работы агрегата с 0,5 года до 5 лет эксплуатации.

Представленный метод позволяет количественно оценить экологическую безопасность различных технических усовершенствований и новых конструкций уплотнений на этапе проектирования и в процессе эксплуатации коксовых печей, и, в итоге, существенно улучшить экологическую обстановку в

наиболее техногеннонагруженном цехе коксохимического предприятия.

#### Литература

1. Парфенюк А. С., Топоров А. А., Алексеева О. Е. Система безопасности и экологичности основных производств промышленных предприятий / Международный сб. научных трудов «Машиностроение и техносфера на рубеже XXI века», в 3-х томах. — Донецк: ДонГТУ, 1999. — Т. 2 — С. 227–229.

2. Парфенюк А. С., Топоров А. А., Власов Г. А. Продление ресурса и повышение техногенной безопасности основных конструкций на коксохимических предприятиях // Кокс и химия, 2001. — № 1. — С. 36–38.

3. Третьяков П. В., Топоров А. А., Алексеева О. Е. Обеспечение техногенной безопасности тепловых агрегатов. / Сб. трудов IX международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера XXI века», в 3-х томах. — Донецк: ДонГТУ, 2001. — Т. 3 — С. 73–75.

4. Парфенюк А. С., Веретельник С. П., Власов Г. А. Повышение надежности и экологичности коксового оборудования путем создания новых конструкций. / Материалы международной научно-практической конференции «Экологические проблемы индустриальных мегаполисов», в 2-х томах. — Донецк, 2004. — Т. 1. — С. 250–252.

5. Парфенюк А. С., Костина Е. Д., Алексеева О. Е. Расчет безотказности крупноблочной бетонной кладки коксовых батарей // Кокс и химия, 2001. — № 5. — С. 21–25.

6. Парфенюк А. С., Власов Г. А., Топоров А. А. К разработке критериев техногенной безопасности объектов химических производств / Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми природокористування, сталого розвитку та техногенної безпеки». — Дніпропетровськ, 2001. — С. 238–240.

7. Ромасько В. С. О расчете долговечности простенка коксовой печи // Кокс и химия, 1993. — № 5. — С. 13–15.

8. Власов Г. А., Топоров А. А. Энергетический подход к расчету техногенной безопасности технических систем. / Сб. трудов «Машиностроение и техносфера на рубеже XXI века», в 3-х томах. — Донецк: ДонГТУ, 2001. — Т. 2 — С. 217–221.

9. Котляр Б. Д. К вопросу определения выбросов через двери коксовых печей // Металлургия и коксохимия, 1985. — № 91. — С. 122–125.

10. Гадяцкий В. Г., Котляр Б. Д. Надежность машин и оборудования коксовых цехов. — Киев: Техника, 1992.

11. Барлоу Н., Прошан Ф. Статистическая теория надежности и испытаний на срок службы. — М: Наука, 1983. — 183 с.

12. Алексеева О. Е., Третьяков П. В. Повышение экологической безопасности тепловых агрегатов /: Материалы международной научно-практической конференции «Экологические проблемы индустриальных мегаполисов», в 2-х томах. — Донецк, 2004. — Т. 1. — С. 193–197.

13. Алексеева О. Е. Оценка работоспособности тепловых агрегатов при проектировании // Защита металлургических машин от поломок, 2003. — Вып. 7. — С. 178–183.

14. Патент N 52037 Украины. МПК6 C10B25/16. Устройство уплотнения двери коксовой печи / Парфенюк А. С., Веретельник С. П., Власов Г. А., Алексеева О. Е. Заявлено 18.01.02; решение о выдаче патента 16.12.02.

15. Патент N 54132 Украины. МПК6 C10B25/16. Устройство уплотнения двери коксовой печи / Парфенюк А. С., Веретельник С. П., Власов Г. А., Алексеева О. Е. Заявлено 22.05.02; решение о выдаче патента 17.02.03.

30.04.08